

**ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ**

Д.В. Антонов, П.А. Стрижак

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: antonovdv132@gmail.com

**PREDICATIVE MODEL FOR INVESTIGATION HIGH-TEMPERATURE EVAPORATION
PROCESSES OF WATER DROPLETS**

D.V. Antonov, P.A. Strizhak

Scientific Supervisor: Senior lecturer, Dr. P.A. Strizhak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: antonovdv132@gmail.com

Abstract. *A predicative model has been developed to study the processes of high-temperature heating and evaporation of water droplets, taking into account the main interconnected processes of heat transfer and phase transformations. Typical profiles of temperature and velocity in the system "high-temperature gases - a droplet of water" are established when the temperature of the external gas medium varies from 100 to 800 °C. Various statements of the problem are considered, which differ substantially in the type of processes and factors taken into account. The analysis of temperature regimes of heating and evaporation of water droplets is carried out, at which simplified models can be used, and in which all complex interrelated processes of heat and mass transfer (including convective, conductive and radiant heat transfer in droplets, and also in the near-surface vapor-gas layer) need to be taken into account.*

Введение. В настоящее время широкое применение получили газопарокапельные технологии [1-4], в которых в качестве исходных жидкостей применяются вода, эмульсии, суспензии и растворы на ее основе. Основной задачей при изучении процессов тепломассопереноса в двухфазных и гетерогенных системах является интенсификация процессов испарения и прогрева капельных потоков. Результаты исследований в области интенсифицированного теплообмена находят свое применение при разработке и усовершенствовании технологий эффективных энергоносителей [5], пожаротушения капельными потоками (в том числе неоднородными) с контролируемыми параметрами [6] и термической очистки воды [7].

В последние годы формируется обширная база фундаментальных экспериментальных [8] и теоретических [9] данных о процессах тепломассопереноса при испарении капель воды. Сравнение основных заключений, приведенных в указанных исследованиях, позволяет сделать вывод о существенных различиях между результатами экспериментов и моделирования. Текущее состояние проблемы обусловлено сложностями, возникающими при моделировании высокотемпературного нагрева и испарения капель жидкостей. Целесообразным является создание совершенных моделей, учитывающих сложные взаимосвязанные физико-химические процессы, с целью обеспечения

удовлетворительной корреляции результатов математического моделирования и экспериментальных исследований. Результаты последних будут способствовать детальному изучению моделируемых высокотемпературных процессов. Из анализа современных представлений о таких процессах [10] можно сделать вывод о том, что учесть весь комплекс взаимосвязанных процессов чрезвычайно сложно. Поэтому в первом приближении целесообразно разработать упрощенную модель.

Цель настоящей работы – разработка упрощенной модели теплопереноса при испарении капель воды, учитывающей конвекцию, кондукцию и тепловое излучение.

Математическая модель и методы решения. Постановка рассматриваемой задачи, т.е. испарение капли воды при учете конвективного, кондуктивного и радиационного теплообмена предполагала следующее: однородная сферическая капля воды находится в потоке разогретого до температур T_g газа, который движется со скоростью V_g (рис. 1). Испарение воды происходит со свободной поверхности капли. В результате вокруг неё формируется слой пара толщиной $h_v=R_2-R_1$ (рис. 1). Первый этап решения задачи тепломассопереноса при испарении капли воды включает построение геометрии и сетки с помощью Ansys Design Modeler и встроенного сеточного генератора Ansys Meshing на базе платформы Workbench. При решении поставленной задачи использовались следующие параметры: временной шаг $\Delta t=0,1$ с и координатные шаги $\Delta x=\Delta y=0,05$ мм. Для повышения точности расчетов вблизи границ фазового перехода проводилось сгущение координатной сетки до $\Delta x=\Delta y=\Delta r=0,001$ мм. В качестве допущения при постановке задачи принималось, что теплофизические характеристики в системе «высокотемпературные газы – капля воды» не зависят от температуры. При формулировании физической и математической моделей были учтены конвективный, кондуктивный и радиационный механизмы теплопереноса при обтекании капли воды потоком высокотемпературных газов (рис. 1).

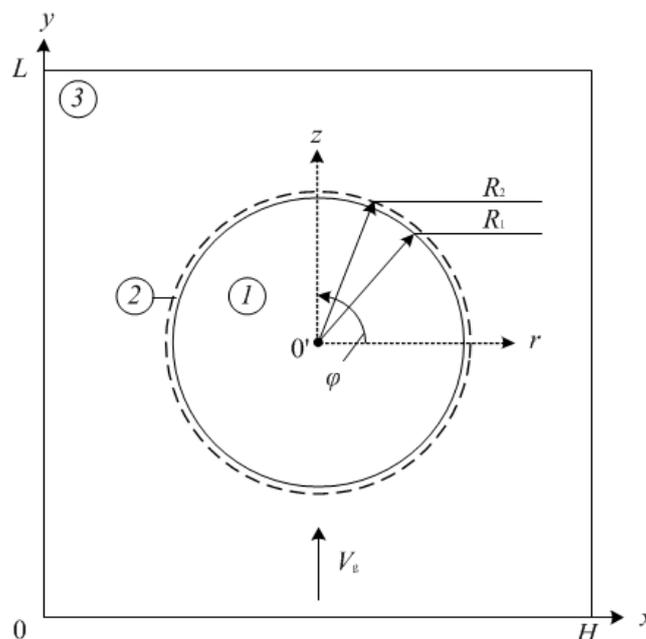


Рис. 1. Схема области решения: 1 – капля воды; 2 – водяной пар; 3 – высокотемпературные газы

Разработанная математическая модель учитывает результаты экспериментальных исследований об основных особенностях и механизмах испарения капель воды в высокотемпературных газах [8]. Важно

отметить, что разработанная модель позволяет варьировать в широком диапазоне большую группу параметров: температура газовой среды, размеры капель, теплофизические свойства воды и другие.

Заключение. Выполненные исследования иллюстрируют важность учета конвективных течений в каплях воды при прогнозировании характеристик их прогрева и испарения. Полученные зависимости можно использовать для развития перспективных газопарокапельных технологий в области создания энергоносителей на основе дымовых газов, паров и капель воды, пожаротушения полидисперсными или неоднородными капельными потоками, термической очистки жидкостей и др. Кроме того, установленные закономерности целесообразно учитывать при проектировании и модернизации технологического оборудования в целях интенсификации теплообменных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД–1221.2017.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sazhin S.S. and etc. Transient heating of diesel fuel droplets // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. Vol. 47. No. 14–16. P. 3327–3340.
2. Sawant P. and etc. Prediction of amount of entrained droplets in vertical annular two-phase flow. International Journal of Heat and Fluid Flow. 2009. Vol. 30, No. 4. Pp. 715–728.
3. Zeng Y. and etc. A preferential vaporization model for multicomponent droplets and sprays. Atomization Sprays. 2002. Vol. 12. Pp. 163–186.
4. Antonov D.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Determination of Temperature and Concentration of a Vapor–Gas Mixture in a Wake of Water Droplets Moving through Combustion Products // Journal of Engineering Thermophysics. 2016. V. 25, No 3. P. 337–351.
5. Volkov R.S. and etc. Experimental study of the change in the mass of water droplets in their motion through high-temperature combustion products // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2013. V. 86, № 6. P. 1413–1418.
6. Voytkov I.S., Volkov R.S., Strizhak P.A. Reducing the flue gases temperature by individual droplets, aerosol, and large water batches // Experimental Thermal and Fluid Science. 2017. V. 88. P. 301–316.
7. Volkov R.S., Strizhak P.A. Planar laser-induced fluorescence diagnostics of water droplets heating and evaporation at high-temperature // Applied Thermal Engineering. 2017. V. 127. P. 141–156.
8. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Predictive determination of the integral characteristics of evaporation of water droplets in gas media with a varying temperature // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. V. 90, No 3. P. 615–624.
9. S. Sazhin, Modelling of fuel droplet heating and evaporation: Recent results and unsolved problems, Fuel, 196 (2017) 69–101.
10. D.B. Some fundamentals of combustion, London: Butterworth's, 1955.